

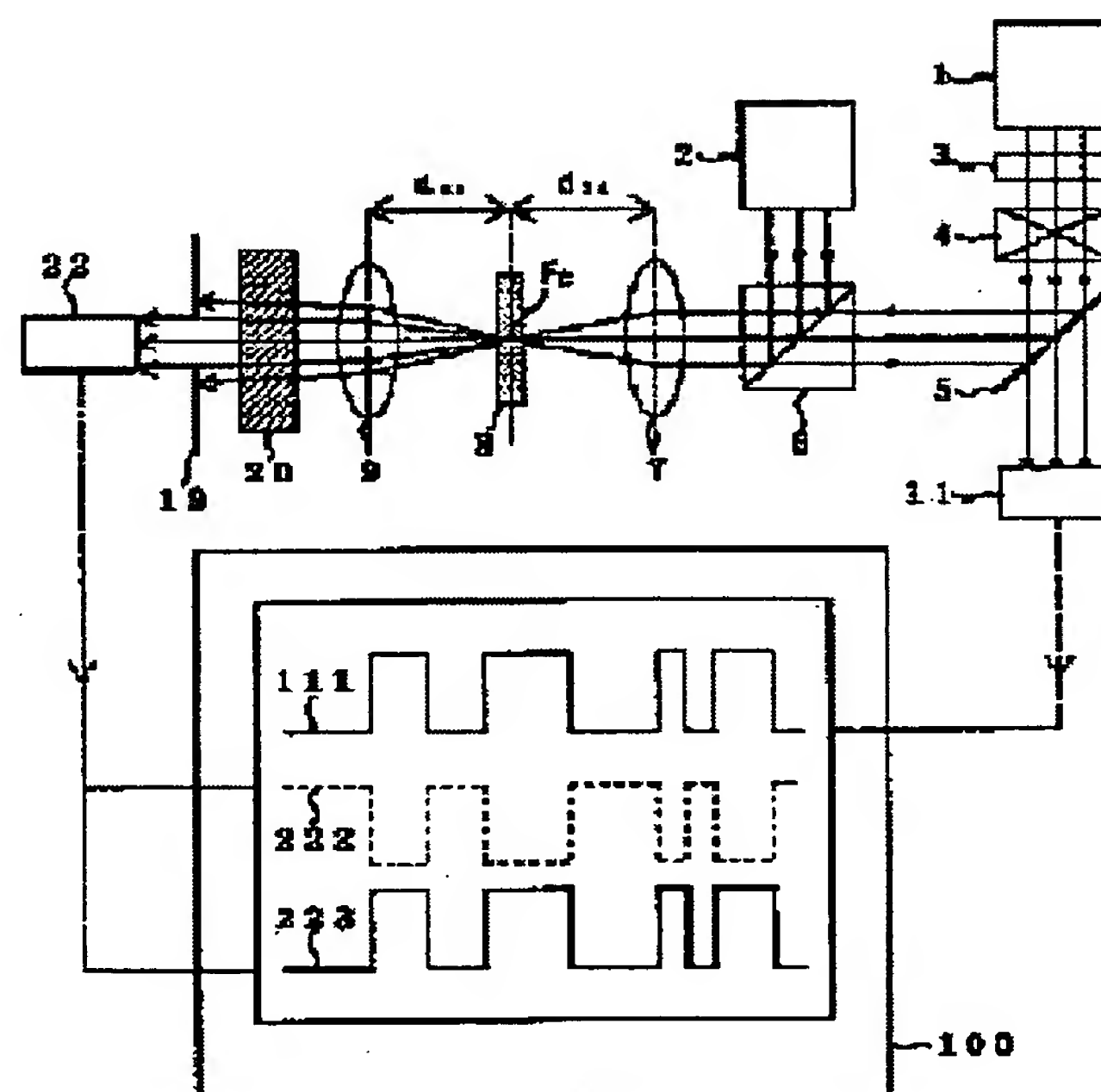
OPTICAL CONTROL METHOD AND OPTICAL CONTROLLER

Patent number: JP9329816
Publication date: 1997-12-22
Inventor: UENO ICHIRO; TANAKA NORIO; TAKARADA SHIGERU
Applicant: VICTOR CO OF JAPAN LTD;; DAINICHISEIKA COLOR & CHEM MFG CO LTD
Classification:
 - international: G02F1/35
 - european:
Application number: JP19960151133 19960612
Priority number(s):

Abstract of JP9329816

PROBLEM TO BE SOLVED: To extract a light response of satisfactory magnitude and speed out of a light responsive optical element with good reproducibility.

SOLUTION: Control light is emitted from a light source 1, and signal light is emitted from a light source 2. The control light and the signal light are converged by a condensing lens 7, then, the optical element 8 is irradiated with the light. Only the signal light is detected by a photodetector 22 through a photoreceiving lens 9 and a wavelength selecting filter 20. The transmissivity of the signal light reversibly increases/decreases in accordance with the on/off of the control light, then, the intensity of the signal light is modified. By setting the numerical aperture of the photoreceiving lens 9 substantially smaller than that of the condensing lens 7, the light response of satisfactory magnitude and speed is pulled out of the light receptive optical element 8.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-329816

(43)公開日 平成9年(1997)12月22日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 2 F 1/35

識別記号 庁内整理番号

F I
G 0 2 F 1/35

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願平8-151133

(22)出願日 平成8年(1996)6月12日

(71)出願人 000004329
日本ビクター株式会社
神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地
(71)出願人 000002820
大日精化工業株式会社
東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号
(72)発明者 上野 一郎
神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地 日本ビクター株式会社内
(74)代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

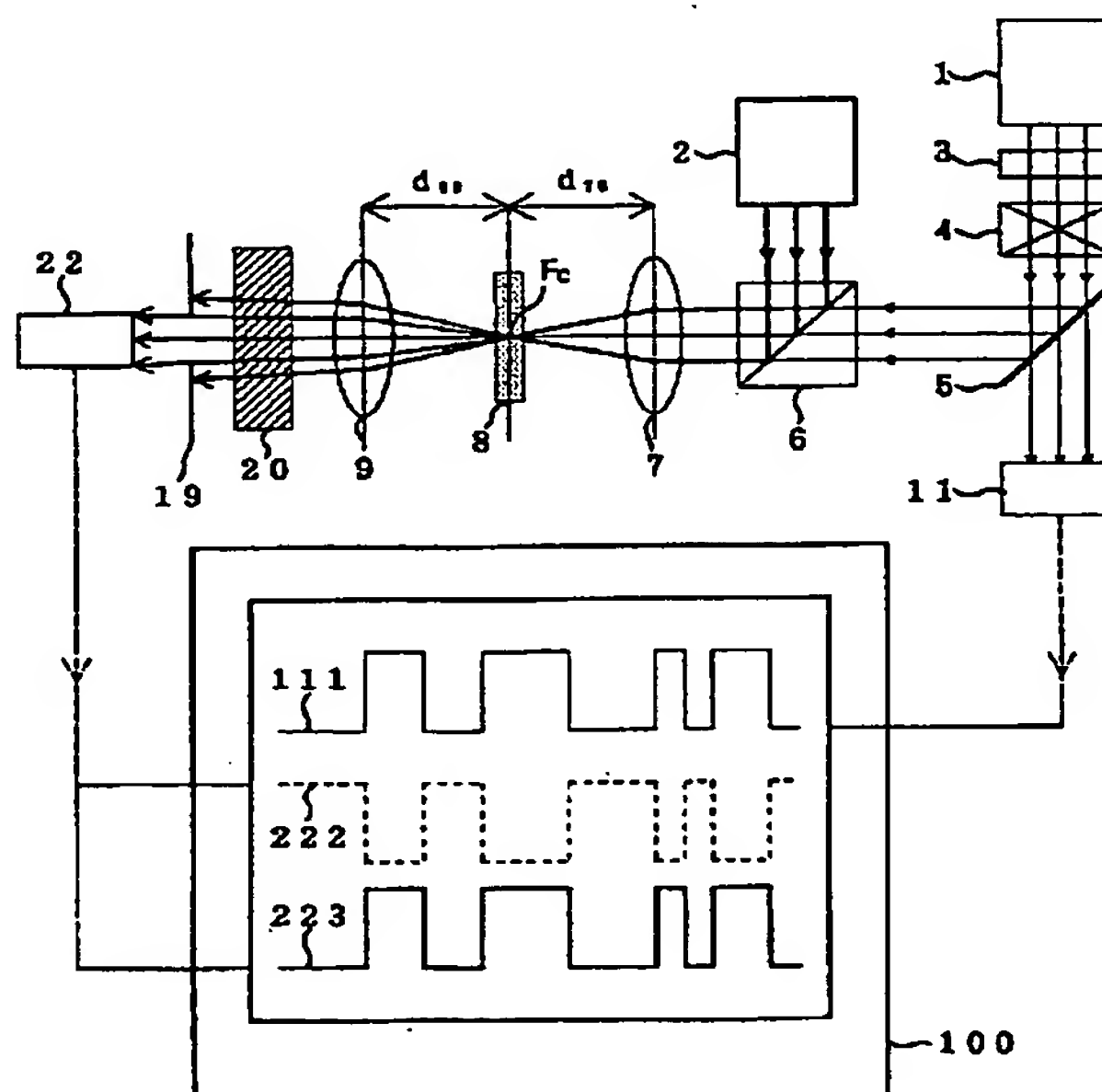
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光制御方法および光制御装置

(57)【要約】

【目的】 十分な大きさおよび速度の光応答を再現性良く光応答性の光学素子から引き出すような光制御方法および光制御装置を提供する。

【構成】 光源1から制御光が、光源2から信号光が射出する。制御光および信号光は集光レンズ7で収束され、光学素子8に照射される。受光レンズ9および波長選択フィルタ20を経て光検出器22で信号光のみが検出される。制御光のON、OFFにより信号光の透過率が可逆的に増減し、信号光の強度変調が実現する。受光レンズの開口数を集光レンズの開口数よりも実質的に小さく設定することにより、十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引き出すことが可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光応答性組成物から成る光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に変化させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法において、前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路をそれぞれ配置した光制御方法であり、

更に、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の光制御方法において、前記制御光および前記信号光を前記光学素子中において実質的に同一光路で伝搬させることを特徴とする光制御方法。

【請求項 3】 請求項 1 および 2 記載の光制御方法において、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲（開口角）で取り出すことによって、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

【請求項 4】 光応答性組成物から成る光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に増減させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法に用いられる光制御装置であって、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段を有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路をそれぞれ配置し、

かつ、前記光学素子は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置され、

更に、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出す手段を有することを特徴とする光制御装置。

【請求項 5】 請求項 4 記載の光制御装置において、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出す手段として、前記光学素子へ前記信号光を収束させて入射させる際に

用いた収束手段の開口数よりも小さい開口数の収束手段を用いることを特徴とする光制御装置。

【請求項 6】 請求項 4 記載の光制御装置において、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出す手段として、絞りを用いることを特徴とする光制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば光通信、光情報処理などの光エレクトロニクスおよびフォトリソグラフィ分野において有用な、光応答性組成物から成る光学素子を用いる光制御方法および光制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】超高速情報伝達・処理を目的として、光の多重性、高密度性に着目した光エレクトロニクスおよびフォトリソグラフィ分野において、光学材料または光学組成物を加工して作成した光学素子に光を照射することで引き起こされる透過率や屈折率の変化を利用して、電子回路技術を用いずに、光の強度（振幅）または周波数（波長）を変調しようとする光・光制御方法の研究開発が盛んに進められている。また、光の特徴を活かして、並列光論理演算や画像処理を行おうとする場合、光ビーム（光線束）の断面に光強度分布変化など、何等かの変調を行うための「空間光変調器」が極めて重要であり、ここへも光・光制御方法の適用が期待される。

【0003】光・光制御方法への応用が期待される現象としては可飽和吸収、非線形屈折、フォトリソグラフィ効果などの非線形光学効果、およびフォトリソグラフィ現象が広く注目を集めている。

【0004】一方、第一の波長帯域の光で励起された分子が、分子構造の変化を伴わずに、第一の波長帯域とは異なる第二の波長帯域において新たに光吸収を起こす現象も知られており、これを「励起状態吸収」または「誘導吸収」、あるいは「過渡吸収」と呼ぶことができる。

【0005】励起状態吸収の応用を試みた例としては、例えば、特開昭 53-137884 号公報にはポルフィリン系化合物と電子受容体を含んだ溶液または固体に対して波長の異なる少なくとも二種類の光線を照射し、この照射により一方の波長の光線が有する情報を他方の光線の波長に移すような光変換方法が開示されている。また、特開昭 55-100503 号公報および特開昭 55-108603 号公報にはポルフィリン誘導体などの有機化合物の基底状態と励起状態の間の分光スペクトルの差を利用し、励起光の時間的な変化に対応して伝搬光を選択するような機能性の液体コア型光ファイバーが開示されている。また、特開昭 63-89805 号公報には光によって励起された三重項状態から更に上位の三重項状態への遷移に対応する吸収を有するポルフィリン誘導体などの有機化合物をコア中に含有しているプラスチック

ク光ファイバーが開示されている。また、特開昭 63-236013 号公報にはクリプトシアニンなどのシアニン色素の結晶に第一の波長の光を照射して分子を光励起した後、第一の波長とは異なる第二の波長の光を前記分子に照射し、第一の波長の光による光励起状態によって第二の波長の光の透過または反射をスイッチングするような光機能素子が開示されている。また、特開昭 64-73326 号公報にはポルフィリン誘導体などの光誘起電子移動物質をマトリックス材料中に分散した光変調媒体に第一および第二の波長の光を照射して、分子の励起状態と基底状態の間の吸収スペクトルの差を利用して光変調するような光信号変調媒体が開示されている。

【0006】これら従来技術で用いられている光学装置の構成としては、特開昭 55-100503 号公報、特開昭 55-108603 号公報、および特開昭 63-89805 号公報には伝搬光の伝播する光ファイバーを励起光の光源（例えばフラッシュランプ）の周囲に巻きつけるような装置構成が開示されており、特開昭 53-137884 号公報および特開昭 64-73326 号公報には光応答性光学素子内部の信号光に相当する光の伝播している部分全体に信号光の光路とは別の方向から制御光に相当する光を収束させることなくむしろ投射レンズなどの手段によって発散させて照射するような装置構成が開示されている。

【0007】しかしながら、以上のような従来技術においては、実用に足る大きさの透過率変化または屈折率変化（光応答）を引き起こすためには非常に高密度の光パワーを必要としたり、光照射に対する応答が遅かったりするため、実用に至るものは未だ得られていないのが現状である。

【0008】本出願人は、上記従来技術の有する課題を解消し、できる限り低い光パワーで十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引出すような光制御方法および光制御装置に関する特許（特願平 7-25618）および光応答性材料に関する特許（特願平 7-58413、7-58414）を出願した。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記課題を解決し、光応答を十分な大きさで再現性良く得るための光制御方法および光制御装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本願の請求項 1 記載の発明に係る光制御方法は、光応答性組成物から成る光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に変化させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法において、前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、か

つ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路をそれぞれ配置した光制御方法であり、更に、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする。

【0011】また、上記目的を達成するために、本願の請求項 2 記載の発明に係る光制御方法は、本願の請求項 1 記載の光制御方法において、前記制御光および前記信号光を前記光学素子中において実質的に同一光路で伝搬させることを特徴とする。

【0012】また、上記目的を達成するために、本願の請求項 3 記載の発明に係る光制御方法は、本願の請求項 1 および 2 記載の光制御方法において、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲（開口角）で取り出すことによって、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする。

【0013】この場合、通常、信号光光線束の中心部分が特に変調を受けやすいので、発散する信号光光線束を収束するために受光レンズを用いるときには信号光光線束の中心軸に受光レンズの中心軸を一致させることが好適である。

【0014】また、上記目的を達成するために、本願の請求項 4 記載の発明に係る光制御装置は、光応答性組成物から成る光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に増減させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法に用いられる光制御装置であって、前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段を有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路をそれぞれ配置し、かつ、前記光学素子は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置され、更に、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出す手段を有することを特徴とする。

【0015】また、上記目的を達成するために、本願の請求項 5 記載の発明に係る光制御装置は、本願の請求項 4 記載の光制御装置において、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出す手段として、前記光学素子へ前記信号光を収束させて入射させる際に用いた収束手段の開口数

よりも小さい開口数の収束手段を用いることを特徴とする。

【0016】また、上記目的を達成するために、本願の請求項6記載の発明に関わる光制御装置は、本願の請求項4記載の光制御装置において、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出す手段として、絞りをを用いることを特徴とする。

【0017】〔光応答性組成物〕ここで、本発明における制御光を照射したとき、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に可変させるような光学素子に用いられる光応答性組成物としては、公知の種々のものを使用することができる。

【0018】その例を具体的に挙げるならば、例えば、GaAs、GaAsP、GaAlAs、InP、InSb、InAs、PbTe、InGaAsP、ZnSeなどの化合物半導体の単結晶、前記化合物半導体の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、異種金属イオンをドーピングした金属ハロゲン化物（例えば臭化カリウム、塩化ナトリウムなど）の単結晶、前記金属ハロゲン化物（例えば臭化銅、塩化銅、塩化コバルトなど）の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、銅などの異種金属イオンをドーピングしたCdS、CdSe、CdSeS、CdSeTeなどのカドミウムカルコゲナイドの単結晶、前記カドミウムカルコゲナイドの微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体単結晶薄膜、多結晶薄膜、ないし多孔質薄膜、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、白金、金、パラジウムなどの貴金属微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、ルビー、アレキサンドライト、ガーネット、Nd:YAG、サファイア、Ti:サファイア、Nd:YLFなど、金属イオンをドーピングした宝石に相当する単結晶（いわゆるレーザー結晶）、金属イオン（例えば鉄イオン）をドーピングしたニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）、 LiB_3O_5 、 LiTaO_3 、 KTiOPO_4 、 KH_2PO_4 、 KNbO_3 、 BaB_2O_7 などの強誘電性結晶、金属イオン（例えばネオジムイオン、エルビウムイオンなど）をドーピングした石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラスその他のガラスなどのほか、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものを好適に使用することができる。

【0019】これらの中でも、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものは、マトリックス材料および色素の選択範囲が広く、かつ光学素子への加工も容易であるため、本発明で特に好適に用いることができる。

【0020】本発明で用いることのできる色素の具体例としては、例えば、ローダミンB、ローダミン6G、エオシン、フロキシンBなどのキサンテン系色素、アクリジンオレンジ、アクリジンレッドなどのアクリジン系色

素、エチルレッド、メチルレッドなどのアゾ色素、ポリフィリン系色素、フタロシアニン系色素、3,3'-ジエチルチアカルボシアニンヨード、3,3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨードなどのシアニン色素、エチル・バイオレット、ピクトリア・ブルーRなどのトリアリールメタン系色素などを好適に使用することができる。

【0021】本発明では、これらの色素を単独で、または、2種類以上を混合して使用することができる。

【0022】本発明で用いることのできるマトリックス材料は、（1）本発明の光制御方式で用いられる光の波長領域で透過率が高いこと、（2）本発明で用いられる色素または種々の微粒子を安定性良く溶解または分散できること、（3）光学素子としての形態を安定性良く保つことができること、という条件を満足するものであれば任意のものを使用することができる。

【0023】無機系のマトリックス材料としては、例えば金属ハロゲン化物の単結晶、金属酸化物の単結晶、金属カルコゲナイドの単結晶、石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの他、いわゆるゾルゲル法で作成される低融点ガラス材料などを使用することができる。

【0024】また、有機系のマトリックス材料としては、例えば種々の有機高分子材料を使用することができる。

【0025】これらのマトリックス材料中へ色素を溶解または分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、色素とマトリックス材料を共通の溶媒中へ溶解して混合した後、溶媒を蒸発させて除去する方法、ゾルゲル法で製造する無機系マトリックス材料の原料溶液へ色素を溶解または分散させてからマトリックス材料を形成する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、色素を溶解または分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、色素と有機高分子系マトリックス材料を共通の溶媒中に溶解した溶液を、色素および熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の両方が不溶の溶剤中へ滴下し、生じた沈殿を濾別し乾燥してから加熱・溶融加工する方法などを好適に用いることができる。色素とマトリックス材料の組合せおよび加工方法を工夫することで、色素分子を凝集させ、「H会合体」や「J会合体」などと呼ばれる特殊な会合体を形成させることができることが知られているが、マトリックス材料中の色素分子をこのような凝集状態もしくは会合状態を形成する条件で使用しても良い。

【0026】また、これらのマトリックス材料中へ前記の種々の微粒子を分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、前記微粒子をマトリックス材料の溶液、または、マトリックス材料の前駆体の溶液に分散した後、溶媒を除去する方法、有機高分子系マトリッ

クス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、前記微粒子を分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、微粒子の前駆体として、例えば過塩素酸カドミウムや塩化金などの金属塩を有機高分子系マトリックス材料中に溶解または分散した後、硫化水素ガスで処理して硫化カドミウムの微粒子を、または、熱処理することで金の微粒子を、それぞれマトリックス材料中に析出させる方法、化学的気相成長法、スパッタリング法などを好適に用いることができる。

【0027】なお、本発明で用いられる光応答性組成物は、その機能に支障をきたさない範囲において、加工性を向上させたり、光学素子としての安定性・耐久性を向上させるため、副成分として公知の酸化防止剤、紫外線吸収剤、一重項酸素クエンチャー、分散助剤などを含有しても良い。

【0028】〔光学素子〕本発明で用いられる光学素子の形態は、本発明の光制御装置の構成に応じて、薄膜、厚膜、板状、ブロック状、円柱状、半円柱状、四角柱状、三角柱状、凸レンズ状、凹レンズ状、マイクロレンズアレイ状、ファイバー状、マイクロチャンネルアレイ状、および光導波路型などの中から適宜選択することができる。本発明で用いられる光学素子の作成方法は、光学素子の形態および使用する光応答組成物の種類に応じて任意に選定され、公知の方法を用いることができる。

【0029】例えば、薄膜状の光学素子を例えば色素とマトリックス材料から製造する場合、色素およびマトリックス材料を溶解した溶液を例えばガラス板上に塗布法、ブレードコート法、ロールコート法、スピンコート法、ディッピング法、スプレー法などの塗工法で塗工するか、あるいは、平版、凸版、凹版、孔版、スクリーン、転写などの印刷法で印刷すれば良い。この場合、ゾルゲル法による無機系マトリックス材料作成方法を利用することもできる。

【0030】例えば、用いる有機高分子系マトリックス材料が熱可塑性の場合、ホットプレス法（特開平4-99609号公報）や延伸法を用いても薄膜ないし厚膜状の膜型光学素子を作成することができる。

【0031】板状、ブロック状、円柱状、半円柱状、四角柱状、三角柱状、凸レンズ状、凹レンズ状、マイクロレンズアレイ状の光学素子を作成する場合は、例えば有機高分子系マトリックス材料の原料モノマーに色素を溶解または分散させたものを用いてキャスト法やリアクション・インジェクション・モールド法で成型することができる。また、熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料を用いる場合、色素を溶解または分散したペレットまたは粉末を加熱熔融させてから射出成形法で加工しても良い。

【0032】ファイバー状の光学素子は、例えば、金属イオンをドーブした石英ガラスを熔融延伸してファイバ

ー化する方法、ガラスキャピラリー管の中に有機高分子系マトリックス材料の原料モノマーに色素を溶解または分散させたものを流し込むか、または、毛管現象で吸い上げたものを重合させる方法、または、色素を溶解または分散させた熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の円柱、いわゆるプリフォームをガラス転移温度よりも高い温度まで加熱、糸状に延伸してから、冷却する方法などで作成することができる。

【0033】上記のようにして作成したファイバー状の光学素子を多数束ねて接着ないし融着処理してから薄片状ないし板状にスライスすることによりマイクロチャンネルアレイ型の光学素子を作成することもできる。

【0034】導波路型の光学素子は、例えば、基板上に作成した溝の中に有機高分子系マトリックス材料の原料モノマーに色素を溶解または分散させたものを流し込んでから重合させる方法、または、基板上に形成した薄膜状光学素子をエッチングして「コア」パターンを形成し、次いで、色素を含まないマトリックス材料で「クラッド」を形成する方法によって作成することができる。

【0035】本発明の光制御方法および光制御装置では、制御光および信号光をそれぞれ収束させ、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が光学素子中において互いに重なり合い、前記光学素子の光応答性組成物中の励起種（例えば色素分子、金属イオンなど）と前記制御光および前記信号光の光子の相互作用効率を著しく向上させることが可能となり、その結果、従来に比べ低い光パワーで十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引出すことが可能になる。

【0036】同時に、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光の光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の光線束を分別して取り出すことにより、十分な大きさで強度変調および／または光束密度変調された信号光を再現性良く得ることが可能となる。

【0037】

【実施形態】以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

【0038】〔実施形態1〕図1には本実施形態の光制御装置の概略構成が示されている。このような光学装置構成および配置は、図1に例示するように膜型光学素子8を用いる場合の他、ファイバー型光学素子（図示せず）を用いる場合にも、光導波路型（図示せず）、マイクロチャンネルアレイ型（図示せず）などの光学素子を用いる場合にも好適に用いることができる。

【0039】ここで、膜型光学素子8は例えば以下の手順で作成することができる。すなわち、シアニン色素の3、3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨード（慣用名DODCI、エキシトン社製）：23.0mgおよびポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピル：19

77.0mgをアセトン:200mlに溶解し、*n*-ヘキサン:300ml中へかき混ぜながら加えて析出した沈殿(色素およびポリマーの混合物)を濾別し、*n*-ヘキサンで洗浄してから減圧下乾燥し、粉碎した。得られた色素およびポリマーの混合粉末を 10^{-5} Pa未満の超高真空下、100℃で2日間加熱を続け、残留溶媒等の揮発成分を完全に除去して、光応答性組成物の粉末を得た。この粉末20mgをスライドガラス(25mm×76mm×厚さ1.150mm)およびカバーガラス(18mm×18mm×厚さ0.150mm)の間に挟み、真空下150℃に加熱し、2枚のガラス板を圧着する方法(真空ホットプレス法)を用いてスライドガラス/カバーガラス間に色素/ポリマーの膜(膜厚50μm)を作成した。なお、色素/ポリマー膜中の色素濃度は、色素/ポリマー混合物の密度を1.06として計算すると、 2.5×10^{-2} mol/lである。

【0040】以上のようにして作成した膜型光学素子の透過率スペクトルを図2に示す。この膜の透過率は制御光の波長(633nm)で38.0%、信号光の波長(694nm)で90.5%であった。

【0041】図1に概要を例示する本発明の光制御装置は、制御光の光源1、信号光の光源2、NDフィルター3、シャッター4、半透過鏡5、光混合器6、集光レンズ7、膜型光学素子8、受光レンズ9、波長選択透過フィルター20、光検出器11および22、およびオシロスコープ100から構成される。これらの光学素子ないし光学部品のうち、制御光の光源1、信号光の光源2、光混合器6、集光レンズ7、膜型光学素子8、受光レンズ9、および、波長選択透過フィルター20は、図1の装置構成で本発明の光制御方法を実施するために必須の装置構成要素である。なお、NDフィルター3、シャッター4、および半透過鏡5は必要に応じて設けるものであり、また、光検出器11および22、およびオシロスコープ100は、本発明の光制御方法を実施するためには必要ないが光制御の動作を確認するための電子装置として、必要に応じて用いられる。

【0042】次に、個々の構成要素の特徴ならびに動作について説明する。

【0043】制御光の光源1にはレーザー装置が好適に用いられる。その発振波長および出力は、本発明の光制御方法が対象とする信号光の波長および使用する光応答性組成物の応答特性に応じて適宜選択される。レーザー発振の方式については特に制限はなく、発振波長帯域、出力、および経済性などに応じて任意の形式のものを用いることができる。また、レーザー光源の光を非線形光学素子によって波長変換してから使用しても良い。具体的には例えば、アルゴンイオンレーザー(発振波長457.9ないし514.5nm)、ヘリウム・ネオンレーザー(633nm)などの気体レーザー、ルビーレーザーやNd:YAGレーザーなどの固体レーザー、色素レ

ーザー、半導体レーザーなどを好適に使用することができる。信号光の光源2にはレーザー光源からのコヒーレント光だけではなく非コヒーレント光を使用することもできる。また、レーザー装置、発光ダイオード、ネオン放電管など、単色光を与える光源の他、タングステン電球、メタルハライドランプ、キセノン放電管などからの連続スペクトル光を光フィルターやモノクロメーターで単色化して用いても良い。

【0044】本発明の光制御方法で利用される光応答性組成物、信号光の波長帯域、および制御光の波長帯域は、これらの組合わせとして、使用目的に応じて適切な組合わせが選定され、用いられる。以下、信号光の光源2として半導体レーザー(発振波長694nm、連続発振出力3mW、ビーム整形後の直径約8mmのガウスビーム)、制御光の光源1としてヘリウム・ネオンレーザー(発振波長633nm、ビーム直径2mmのガウスビーム)、および前記の光応答性組成物からなる膜型光学素子8の組合わせを用いた場合について実施形態を説明する。

【0045】NDフィルター3は必ずしも必要ではないが、装置を構成する光学部品や光学素子へ必要以上に高いパワーのレーザー光が入射することを避けるため、また、本発明で用いられる光学素子の光応答性能を試験するにあたり、制御光の光強度を増減するために有用である。この実施形態では後者の目的で数種類のNDフィルターを交換して使用した。

【0046】シャッター4は、制御光として連続発振レーザーを用いた場合に、これをパルス状に明滅させるために用いられるものであり、本発明の光制御方法を実施する上で必須の装置構成要素ではない。すなわち、制御光の光源1がパルス発振するレーザーであり、そのパルス幅および発振間隔を制御できる形式の光源である場合や、適当な手段で予めパルス変調されたレーザー光を光源1として用いる場合は、シャッター4を設けなくても良い。

【0047】シャッター4を使用する場合、その形式としては任意のものを使用することができ、例えば、オプティカルチョッパ、メカニカルシャッター、液晶シャッター、光カー効果シャッター、ポッケルセル、音響光学(AO)変調器などを、シャッター自体の作動速度を勘案して適時選択して使用することができる。

【0048】半透過鏡5は、この実施形態において、本発明の光制御方法の作用を試験するにあたり、制御光の光強度を常時見積もるために用いるものであり、光分割比は任意に設定可能である。

【0049】光検出器11および22は、本発明の光・光制御による光強度の変化の様子を電気的に検出して検証するため、また、本発明の光学素子の機能を試験するために用いられる。光検出器11および22の形式は任意であり、検出器自体の応答速度を勘案して適時選択し

て使用することができ、例えば、光電子増倍管やフォトダイオード、フォトトランジスタなどを使用することができる。

【0050】前記光検出器11および22の受光信号はオシロスコープ100などの他、AD変換器とコンピュータの組合わせ（図示せず）によってモニターすることができる。

【0051】光混合器6は、前記光学素子中を伝播して行く制御光および信号光の光路を調節するために用いるものであり、本発明の光制御方法および光制御装置を実施するに当たり重要な装置構成要素の一つである。偏光ビームスプリッター、非偏光ビームスプリッター、またはダイクロイックミラーのいずれも使用することができ、光分割比についても任意に設定可能である。

【0052】集光レンズ7は、信号光および制御光に共通の収束手段として、光路が同一になるように調節された信号光および制御光を収束させて前記光学素子へ照射するためのものであり、本発明の光制御方法および光制御装置の実施に必須な装置構成要素の一つである。集光レンズの焦点距離、開口数、F値、レンズ構成、レンズ表面コートなどの仕様については任意のものを適宜使用することができる。

【0053】この実施形態では集光レンズ7として、倍率40倍、焦点距離5mm、開口数0.65の顕微鏡用対物レンズを用いた。

【0054】受光レンズ9は、収束されて光学素子8へ照射され、透過してきた信号光および制御光を平行および／または収束ビームに戻すための手段であるが、本実施形態に示すように、前記集光レンズ7の開口数より小さい開口数のレンズを用いることによって、充分な大きさを強度変調および／または光束密度変調された信号光を再現性良く得ることができる。本実施形態では受光レンズ9として、例えば、倍率20倍、開口数0.4の顕微鏡レンズを用いた。すなわち、集光レンズ7の開口数より受光レンズ9の開口数を小さくすることにより、信号光の光束のうち、強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の光束を分別して取り出すことが可能となり、充分な大きさを強度変調を受けた信号光を再現性良く検出できるようになる。もちろん、レンズ開口数が大きくても、絞り19を入れたり、光検出器に光束の中心部分のみ入射させて実質的に開口数を小さくしても良いことは言うまでもない。また、後で述べるように、集光レンズおよび受光レンズの代りに凹面鏡を用いることも可能である（実施形態4参照）。

【0055】波長選択透過フィルター20は、図1の装置構成で本発明の光制御方法を実施するために必須の装置構成要素の一つであり、前記光学素子中の同一の光路を伝播してきた信号光と制御光とから信号光のみを取り出すための手段の一つとして用いられる。

【0056】波長の異なる信号光と制御光とを分離する

ための手段としては他に、プリズム、回折格子、ダイクロイックミラーなどを使用することができる。

【0057】図1の装置構成で用いられる波長選択透過フィルター20としては、制御光の波長帯域の光を完全に遮断し、一方、信号光の波長帯域の光を効率良く透過することのできるような波長選択透過フィルターであれば、公知の任意のものを使用することができる。例えば、色素で着色したプラスチックやガラス、表面に誘電体多層蒸着膜を設けたガラスなどを用いることができる。

【0058】以上のような構成要素から成る図1の光学装置において、光源1から出射された制御光の光ビームは、透過率を加減することによって透過光強度を調節するためのNDフィルター3を通過し、次いで制御光をパルス状に明滅するためのシャッター4を通過して、半透過鏡5によって分割される。

【0059】半透過鏡5によって分割された制御光の一部は光検出器11によって受光される。ここで、光源2を消灯、光源1を点灯し、シャッター4を開放した状態において光学素子8への光ビーム照射位置における光強度と光検出器11の信号強度との関係をあらかじめ測定して検量線を作成しておけば、光検出器11の信号強度から、光学素子8に入射する制御光の光強度を常時見積もることが可能になる。この実施形態では、NDフィルター3によって、膜型光学素子8へ入射する制御光のパワーを0.5mWないし25mWの範囲で調節した。

【0060】半透過鏡5で分割・反射された制御光は、光混合器6および集光レンズ7を通過して、光学素子8に収束されて照射される。膜型光学素子8を通過した制御光の光ビームは、受光レンズ9を通過した後、波長選択透過フィルター20によって遮断される。

【0061】光源2から出射された信号光の光ビームは、前記光混合器6によって、制御光と同一光路を伝播するように混合され、集光レンズ7を経由して、膜型光学素子8に収束・照射され、素子を通過した光は受光レンズ9および波長選択透過フィルター20を透過した後、必要に応じて設けられる絞り19を通過した後、光検出器22にて受光される。

【0062】図1の光学装置を用いて光制御の実験を行い、図3および図4に示すような光強度変化を観測した。図3および図4において、111は光検出器11の受光信号、222および223は光検出器22の受光信号である。光検出器22の受光信号222の得られる場合と223の得られる場合の違いは、以下の通りである。

【0063】図1の装置配置においては膜型光学素子8に制御光と信号光とを収束して入射させているが、収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定すると、前記光学素子を透過した前記信号光の強度が減少す

る方向の光応答222が観察される。一方、収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の受光レンズ9に近い所（光の出射側）に設定すると、前記光学素子を透過した前記信号光のみかけの強度が増大する方向の光応答223が観察される。

【0064】このような光応答が生じる機構の詳細については未解明であり、現在、鋭意検討中であるが、制御光の照射により光応答性物質の透過率や屈折率等が変化することに起因するものと推測される。

【0065】図1の光学装置を用いて光制御の実験を行い、図3および図4に示すような光強度変化を観測したが、その詳細は以下に述べる通りである。

【0066】まず、制御光の光ビームと信号光の光ビームとが、膜型光学素子8内部または近傍の同一領域で焦点Fcを結ぶように、それぞれの光源からの光路、光混合器6、および集光レンズ7を調節した。なお、前記膜型光学素子8のカバーガラス側から信号光および制御光が入射し、スライドガラス基板側から出射するような向きに光学素子を配置した。次いで、波長選択フィルター20の機能を点検した。すなわち、光源2を消灯した状態で、光源1を点灯し、シャッター4を開閉した場合には光検出器22に応答が全く生じないことを確認した。

【0067】なお、収束ビーム径最少位置（焦点Fc）の膜型光学素子8上での移動は、膜型光学素子8を移動させて行った。すなわち、集光レンズ7および受光レンズ9の間隔（ $d_{78} + d_{89}$ ）を固定したまま、膜型光学素子8と集光レンズ7の距離を変化させ、同一の光路で収束された制御光および信号光の焦点位置と膜型光学素子8との位置関係を変化させて行った。

【0068】まず前記焦点Fcを膜型光学素子8の集光レンズ側に設置した場合について述べる。この場合の、制御光の波形111に対する信号光の応答波形222を図3に示す。

【0069】シャッター4を閉じた状態で制御光の光源1を点灯し、次いで、時刻 t_1 において光源2を点灯し光学素子8へ信号光を照射すると、光検出器22の信号強度はレベルCからレベルAへ増加した。

【0070】時刻 t_2 においてシャッター4を開放し、光学素子8内部の信号光が伝播しているのと同じ光路へ制御光を収束・照射すると光検出器22の信号強度はレベルAからレベルBへ減少した。この変化の応答時間は2マイクロ秒未満であった。

【0071】時刻 t_3 においてシャッター4を閉じ、光学素子への制御光照射を止めると光検出器22の信号強度はレベルBからレベルAへ復帰した。この変化の応答時間は3マイクロ秒未満であった。

【0072】時刻 t_4 においてシャッター4を開放し、ついで、時刻 t_5 において閉じると、光検出器22の信号強度はレベルAからレベルBへ減少し、次いでレベルAへ復帰した。

【0073】時刻 t_6 において光源2を消灯すると光検出器22の出力は低下し、レベルCへ戻った。

【0074】ついで、前記焦点Fcを膜型光学素子8の受光レンズ側に設置した場合について述べる。この場合の、制御光の波形111に対する信号光の応答波形223を図4に示す。

【0075】シャッター4を閉じた状態で制御光の光源1を点灯し、次いで、時刻 t_1 において光源2を点灯し光学素子8へ信号光を照射すると、光検出器22の信号強度はレベルCからレベルAへ増加した。

【0076】時刻 t_2 においてシャッター4を開放し、光学素子8内部の信号光が伝播しているのと同じ光路へ制御光を収束・照射すると光検出器22の信号強度はレベルAからレベルDへ増加した。この変化の応答時間は2マイクロ秒未満であった。

【0077】時刻 t_3 においてシャッター4を閉じ、光学素子への制御光照射を止めると光検出器22の信号強度はレベルDからレベルAへ復帰した。この変化の応答時間は3マイクロ秒未満であった。

【0078】時刻 t_4 においてシャッター4を開放し、ついで、時刻 t_5 において閉じると、光検出器22の信号強度はレベルAからレベルDへ増加し、次いでレベルAへ復帰した。

【0079】時刻 t_6 において光源2を消灯すると光検出器22の出力は低下し、レベルCへ戻った。

【0080】以上まとめると、膜型光学素子8へ、制御光を図3または図4の111に示すような波形で表される光強度の時間変化を与えて照射したところ、信号光の光強度をモニターして示す光検出器22の出力波形は図3の222または図4の223に示すように、制御光の光強度の時間変化に対応して可逆的に変化した。すなわち、制御光の光強度の増減または断続により信号光の透過を制御すること、すなわち光で光を制御すること（光・光制御）、または、光で光を変調すること（光・光変調）ができることが確認された。

【0081】なお、制御の光の断続に対応する信号光の光強度の変化の程度は、前記の光検出器22の出力レベルA、BおよびCを用いて次に定義される値 ΔT [単位%] または、A、CおよびDを用いて次に定義される値 $\Delta T'$ [単位%]

【数1】

$$\Delta T = 100 [(A - B) / (A - C)]$$

【数2】

$$\Delta T' = 100 [(D - A) / (A - C)]$$

によって定量的に比較することができる。ここで、Aは制御光を遮断した状態で信号光の光源2を点灯した場合の光検出器22の出力レベル、BおよびDは信号光と制御光を同時に照射した場合の光検出器22の出力レベル、Cは信号光の光源2を消灯した状態の光検出器22の出力レベルである。

【0082】上の例において、制御光の入射パワーを20mWとし、膜型光学素子8を移動して信号光の光応答の向きと大きさを調べたところ、信号光強度が減少する向きの応答の大きさ ΔT の最大値は80%、見かけの信号光強度が増加する向きの応答の大きさ $\Delta T'$ の最大値は40%であった。

【0083】上記のように収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）と膜型光学素子8の位置関係を変えることによって、信号光の光応答の向きを逆転させ、信号光のみかけの強度が減少する方向、または、増加する方向の応答を得ることが出来る。

【0084】このような光応答変化の生じる機構を調べるため、光制御を行った場合に起こる信号光ビーム断面における光強度分布の変化の測定を行った。すなわち、図1の装置において、受光レンズ9を集光レンズ7の開口数（本実施形態の場合は0.65）よりも大きな開口数（例えば0.75）のものに変更し、光検出器22の代わりに光強度分布測定器を設置し、膜型光学素子8を透過した光線束の全てを受光レンズ9で受光・収束させて前記光強度分布測定器の受光部31（有効直径4mm）へ入射させ、信号光光線束断面の光強度分布を測定した。測定結果を図8、9、10に示す。ここで、光強度分布測定器は、図5に示すように、受光部31（有効直径4mm）に対して幅1mmの第一のスリット32を設け、第一のスリットの長さ方向、すなわち図5において点Xから点Yの向きに、幅25 μ mの第二のスリット33を一定速度で移動させて、2枚のスリットが作る1mm \times 25 μ mの長方形の窓を通過した光の強度を、前記窓の移動位置に対応させて測定する装置である。前記窓の移動位置に対応させて光強度を測定するには、例えば、第二のスリット33の移動速度に同期させたストレージオシロスコープ上に、前記窓を通過した光を受光した検出器の出力を記録すれば良い。図8～10は、以上のようにして、ストレージオシロスコープ上に記録された信号光の光ビーム断面についての光強度分布を示すものであり、横軸（光ビーム断面内の位置）は図5の点Xから点Yの方向の位置に対応し、縦軸は光強度を表す。

【0085】図8は、膜型光学素子8に制御光が入射せず、信号光のみが入射した場合の前記信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の強度が強く、周辺に行くに従い強度が弱まる分布（おおむね「ガウス分布」）である。

【0086】図9は、収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が減少する向きの光応答222が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺で光強度が増大する分布になっている。別の見方をすると、制御光を照射しない場

合の、図8のような光強度分布の光線束から、ビーム中心付近の光線束を取り除いたものに相当することが判る。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および膜型光学素子8と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すに従い、ゼロに近づいていく。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が減少する向きの光応答222を、十分な大きさで取り出すことが出来る。

【0087】図10は、収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の受光レンズ9に近い所（光の出射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が増大する向きの光応答223が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合は、中心部分の光強度が、制御光を照射しない場合の中心部分の光強度（図8）より強くなっている。この場合、信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および膜型光学素子8を焦点位置の関係に依存するが、制御光非照射時の数倍にも達する。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が増大する向きの光応答223を十分な大きさで取り出すことが出来る。

【0088】以上の実験から、制御光の断続による信号光の光強度変調（光応答）は、信号光ビーム（光束）断面の中心部で、特に大きく起きていることが判る。従って、本発明の主旨とは逆に、受光レンズ9の開口数を集光レンズ7の開口数よりも大きくして、光学素子8を透過した信号光を全て補足し、光検出器で受光した場合、検出される光応答は、本発明の場合に比べて著しく小さくなってしまふ。また、光検出器に、制御光による光変調を受けた部分以外のノイズ成分が取り込まれてしまひ、S/N比が著しく悪くなってしまふ。

【0089】なお、図11、12、13は、集光レンズ7の開口数を0.65、受光レンズ9の開口数を0.4にした場合の信号光ビーム断面の光強度分布である。図11は信号光のみが膜型光学素子8に入射した場合、図12は収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定した場合、図13は収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の受光レンズ9に近い所（光の出射側）に設定した場合の前記信号光のそれぞれの光強度分布である。

【0090】〔実施形態2〕本発明の光制御光法および光制御装置において光応答を大きくするためには前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点の近傍の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前

記信号光の光路をそれぞれ配置すれば良いが、そのためには信号光および制御光を実質的に同一光路で伝播させることが好ましい。なお、前記制御光および前記信号光の電場の振幅分布がガウス分布となっているガウスビームの場合、集光レンズ7などで、開き角 2θ で収束させたときの焦点Fc近傍における光線束および波面30の様子を図6に示す。ここで、波長 λ のガウスビームの直径 $2\omega_0$ が最小になる位置、すなわちビームウエストの半径 ω_0 は次の式で表される。

【0091】

$$\text{【数3】 } \omega_0 = \lambda / (\pi \cdot \theta)$$

例えば、実施形態1で用いた集光レンズ（焦点距離5mm、開口数0.65）で波長633nm、ビーム直径1mmの制御光を収束したときのビームウエストの半径は $2.02\mu\text{m}$ 、同様にして波長694nm、ビーム直径8mmの信号光を収束したときのビームウエストの半径は $0.327\mu\text{m}$ （ほぼ回折限界）と計算される。

【0092】図7に示すように、信号光および制御光が「実質的に同一光路」と看做することができるのは次のような場合である：

- 1) 制御光と信号光の光軸が互いに平行であって、制御光の光路、例えば断面L02（半径 r_2 ）の中に信号光の光路、例えば断面L+1、L01、またはL-1（半径 r_1 ； $r_1 \leq r_2$ ）が重なって伝搬する場合、
- 2) 制御光と信号光の光軸が互いに平行であって、信号光の光路、例えば断面L02（半径 r_2 ）の中に制御光の光路、例えば断面L+1、L01、またはL-1（半径 r_1 ； $r_1 \leq r_2$ ）が重なって伝搬する場合、
- 3) 制御光と信号光の光軸が互いに平行（光軸間の距離 l_{+1} 、 l_{-1} 、または $l_{+1}+l_{-1}$ ）であって、制御光の光路が断面L+1、L01、またはL-1のいずれか、信号光の光路も断面L+1、L01、またはL-1のいずれかである場合。

【0093】表1のデータは、一例として、実施形態1の装置において、集光レンズ7として、開口数0.65の顕微鏡用対物レンズを用い、受光レンズ9として、開口数0.4の顕微鏡用レンズを用い、収束ビーム径が最少となる位置（焦点）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定し、前記光学素子を透過した前記信号光が減少する方向の光応答222が観察される条件下、信号光の光路を断面L02（直径8mm）に固定し、断面L+1、L01、またはL-1（直径1mm）の制御光の光路（光軸）を光軸間の距離 l_{+1} または l_{-1} として0.9ないし1.2mm平行移動した場合の、信号光・光応答の大きさ ΔT の変化を示したものである。信号光および制御光の光軸が完全に一致している場合の光応答が最大であるが、光軸間の距離 l_{+1} または l_{-1} が $\pm 0.6\text{mm}$ 程度ずれても、光応答の大きさ ΔT は7ポイントほど変化するにすぎない。

【0094】すなわち、収束された信号光および制御光

のそれぞれの焦点の近傍の光子密度が最も高い領域（ビームウエスト）が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、これらの領域の重なり合いが最大になったとき、すなわち、前記制御光および前記信号光の光軸が完全に一致したとき前記光応答は最大になること、前記制御光および前記信号光の光路が実質的に同一のとき、充分大きな光応答が得られることが判った。

【0095】

【表1】

制御光（633nm）の 平行移動距離 l/mm	信号光（694nm）の 光応答 $\Delta T/\%$
-0.9	68
-0.6	82
-0.3	84
0.0	88
+0.3	84
+0.6	81
+0.9	67
+1.2	32

【実施形態3】シアニン色素としてDODCIの代わりに、1、1'-ジエチル-2、2'-カルボシアニンヨージド（アルドリッチ社製）を用いた他は実施形態1に記載の方法と同様の手順によって、膜型光学素子8を作成した。この膜の透過率は制御光の波長（633nm）で0.18%、信号光の波長（694nm）で88.5%であった。

【0096】この膜型光学素子を実施形態1の場合と同様な光制御装置（図1）に取り付け、制御光および信号光の収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）と膜型光学素子8の位置関係を変えながら、制御光の断続に対応した、信号光の光応答の向きおよび大きさを調べた。ただし、集光レンズ7として倍率20倍、開口数0.4の顕微鏡用レンズを、受光レンズ9として倍率10倍、開口数0.3の顕微鏡用対物レンズを用い、集光レンズ7および受光レンズ9の間隔（ $d_{78}+d_{89}$ ）を固定したまま、膜型光学素子8と集光レンズ7の距離を変化させ、同一の光路で収束された制御光および信号光の焦点位置と膜型光学素子8との位置関係を変化させて行っ

た。

【0097】制御光の入射パワー13mWのとき、信号光強度が減少する向きの応答の大きさ ΔT の最大値は91%、見かけの信号光強度が増加する向きの応答の大きさ $\Delta T'$ の最大値は48%であった。

【0098】〔実施形態4〕図14には本実施形態の光制御装置の概略構成が示されている。このような光学装置構成および配置は、図14に例示するような膜型光学素子8の他に、ファイバー型、光導波路型、マイクロチャンネルアレイ型などの光学素子を用いる場合にも好適に用いることができる。

【0099】光源1および2、NDフィルター3、シャッター4、光検出器11および22、膜型光学素子8、波長選択フィルター20、およびオシロスコープ100については実施形態1（図1）と同様のものを同様に用いた。

【0100】図14に示すような配置でダイクロイックミラー21を用いることで、制御光を分割して、その光強度を光検出器11でモニターすると同時に、制御光と信号光の光路を重ね合わせることができ、図1の配置で必要な光混合器6を省略することができる。ただし、図7の配置においては、ダイクロイックミラー21の波長選択透過および反射を補完するために、信号光を完全に遮断し制御光だけを透過させるような波長選択透過フィルター10を光検出器11の前に設けることが好ましい。また、信号光および／または制御光が光源1および2へ戻り、光源装置に悪影響を与えるのを避けるため、必要に応じて、光アイソレーター13および14を、それぞれ光源1および2の前に設けても良い。

【0101】光路を一致させた信号光および制御光と一緒に収束させて膜型光学素子8へ照射する際の光収束手段として、集光レンズ7および受光レンズ9の代りに、図14のような配置において凹面鏡15および16を用いることができる。信号光と制御光に共通の収束手段としてレンズを用いる場合、厳密には波長によって焦点距離が異なるという問題が生じるが、凹面鏡ではその心配がない。

【0102】図14に例示するような、本発明の光制御装置において前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すには、次のような方法を採用することが出来る。

【0103】（1）光検出器22の手前に絞り19を設ける方法。

【0104】（2）照射側の凹面鏡15の開口角よりも受光側の凹面鏡16の開口角を小さくする方法。

【0105】（3）照射側の凹面鏡15の開口角よりも受光側の凹面鏡16の開口角を小さくし、更に、光検出器22の手前に絞り19を設ける方法。

【0106】図14に例示するような、本発明の光制御装置において必須の装置構成要素は光源1および2、ダイクロイックミラー21、波長選択透過フィルター20、凹面鏡15、16、および膜型光学素子8である。なお、図14におけるダイクロイックミラー21の代りに偏光または非偏光のビームスプリッターを用いることもできる。

【0107】本発明の光制御方法を図14に示すような装置で行う場合の手順として、まず、制御光（光源1）と信号光（光源2）の光路が一致し、共通の焦点Fc（ビームウエスト）位置に光学素子8が配置されるよう調節を行い、次いで、ダイクロイックミラー21ならびに波長選択透過フィルター10および20の機能を点検するため、光源1と2を交互に点灯し、光源1のみ点灯（シャッター4開放）したとき光検出器22に反応がないこと、および光源2のみを点灯したとき光検出器11に反応がないことを確認した。

【0108】以下、実施形態1の場合と同様にして、前記膜型光学素子8を用いた光・光制御方法を実施し、実施形態1の場合と同等の実験結果を得た。

【0109】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の光制御方法および光制御装置によれば、例えば、可視領域にあるレーザー光を制御光として、近赤外線領域にある信号光を効率良く変調することが、極めて単純な光学装置によって、電子回路などを一切用いることなく、実用上十分な応答速度において実現可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を実施する際に用いられる装置構成を例示した実施形態1の構成図である。

【図2】 実施形態1の膜型光学素子の透過率スペクトルである。

【図3】 制御光および信号光の光強度時間変化を例示した図である。

【図4】 制御光および信号光の光強度時間変化を例示した図である。

【図5】 光強度分布測定に用いたスリットと光ビームとの関係を示す図である。

【図6】 集光レンズなどで収束されたガウスビームの焦点近傍における様子を表した模式図である。

【図7】 制御光および信号光の光路（および光軸）の関係を例示した図である。

【図8】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図9】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図10】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図11】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図12】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図13】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

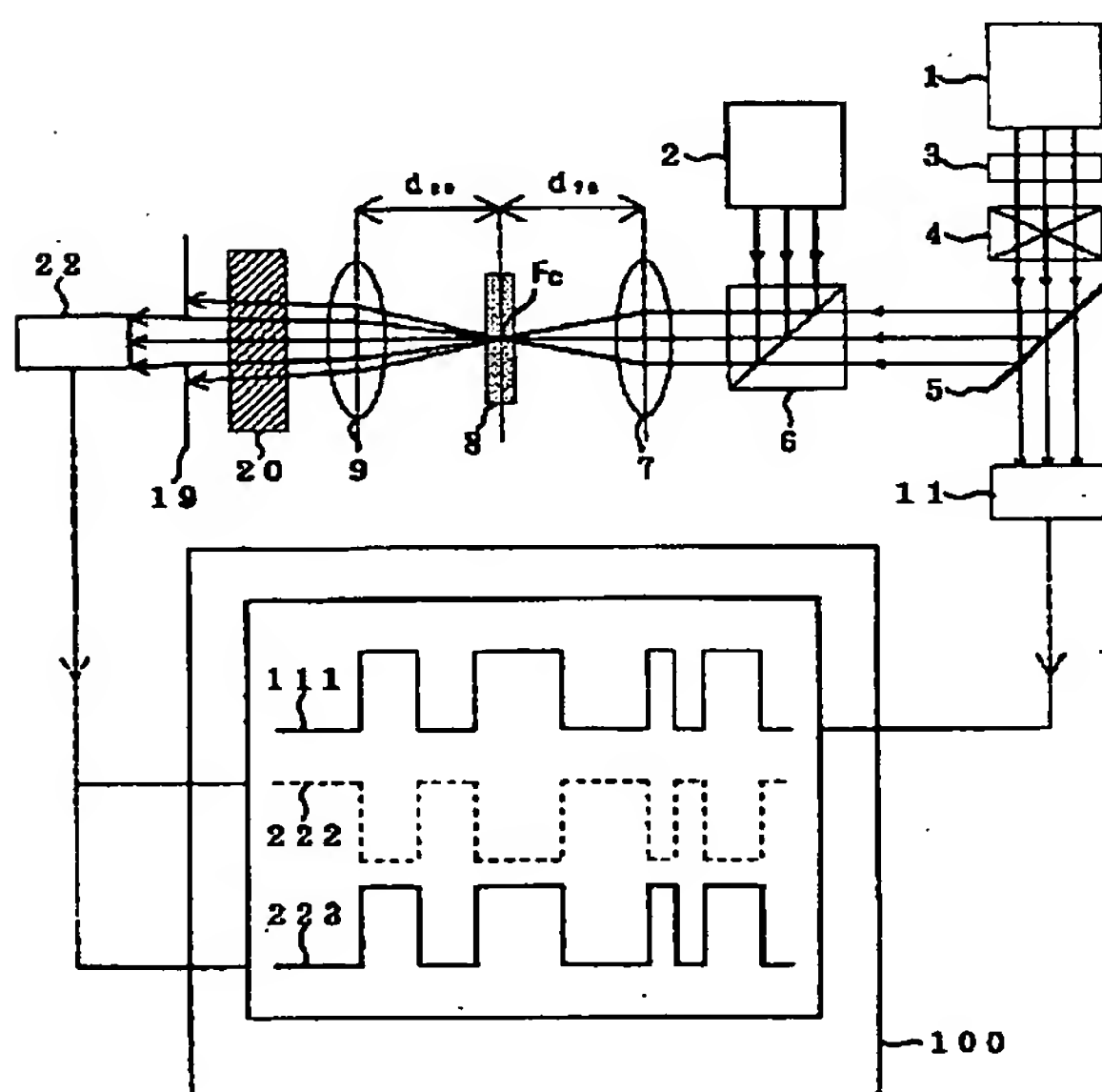
【図14】 本発明を実施する際に用いられる実施形態4の装置構成を例示した構成図である。

【符号の説明】

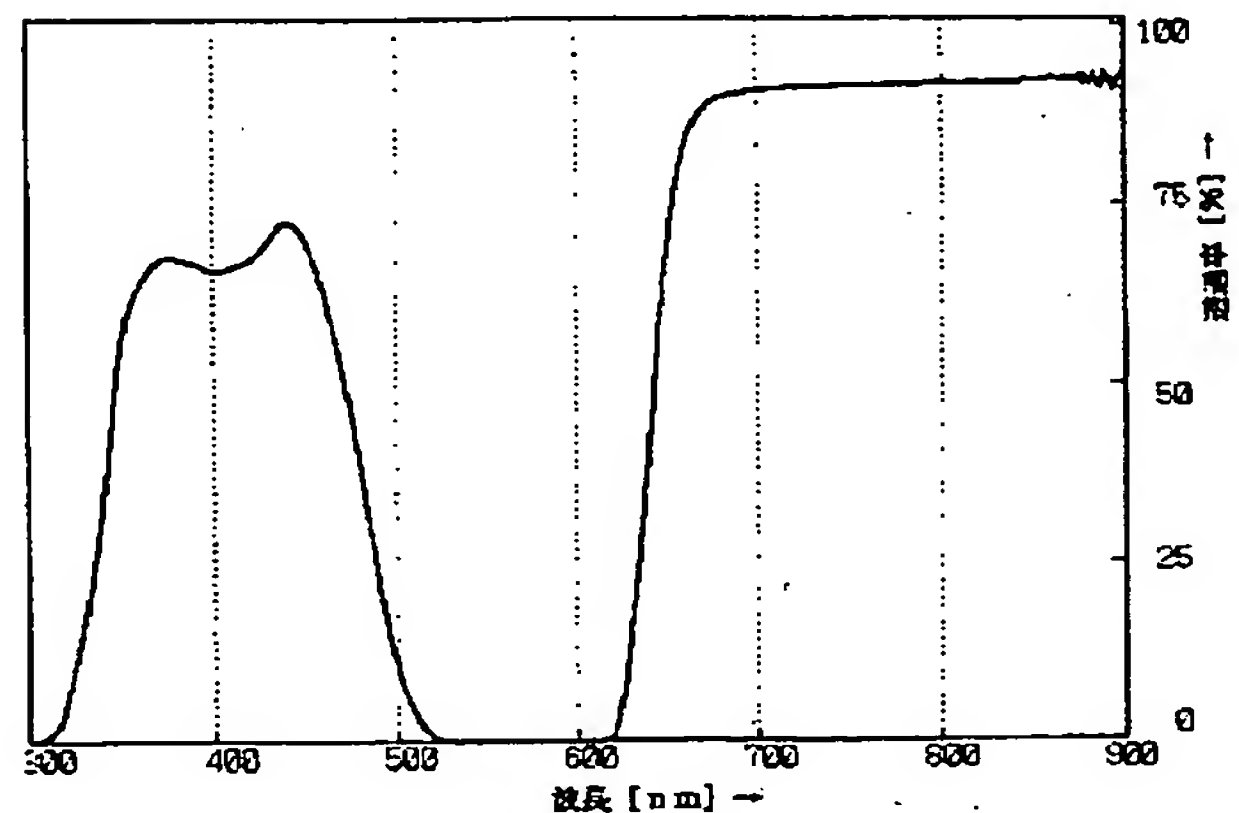
1 制御光の光源、2 信号光の光源、3 NDフィルター、4 シャッター、5 半透過鏡、6 光混合器、7 集光レンズ、8 膜型光学素子、9 受光レンズ、10 波長選択透過フィルター（信号光遮断用）、11 光検出器、13 光アイソレーター（制御光用）、14 光アイソレーター（信号光用）、15 凹面鏡、16 凹面鏡、19 絞り、20 波長選択透過フィルター（制御光遮断用）、21 ダイクロイックミラー、22 光検出器（信号光の光強度検出用）、30 波面、31 光強度分布測定器の受光部（有効直径4mm）、32 第一のスリット（幅1mm）、33 第二のスリット（幅25 μ m）、100 オシロスコープ、111 光検出器11からの信号（制御光の光強度時間変化曲線）、222および223 光検出器22からの信号（信号光の光強度時間変化曲線）、A 制御光を遮断した状態で信号光の光源を点灯した場合の光検出器22の

出力レベル、B 焦点 F_c が膜型光学素子8の集光レンズ側に設定された場合で、かつ信号光の光源を点灯した状態で制御光を照射した場合の光検出器22の出力レベル、C 信号光を消灯した状態の光検出器22の出力レベル、D 焦点 F_c が膜型光学素子8の受光レンズ側に設定された場合で、かつ信号光の光源を点灯した状態で制御光を照射した場合の光検出器22の出力レベル、 d_{78} 集光レンズ7と膜型光学素子8の距離、 d_{89} 膜型光学素子8と受光レンズ9の距離、 F_c 焦点、 L_{01} 、 L_{+1} 、 L_{-1} および L_{02} 信号光または制御光の光ビーム断面、 l_{+1} および l_{-1} 信号光または制御光の光軸の平行移動距離、 r_1 信号光または制御光の光ビーム断面 L_{01} 、 L_{+1} または L_{-1} の半径、 r_2 信号光または制御光の光ビーム断面 L_{02} の半径、 t_1 信号光の光源を点灯した時刻、 t_2 制御光を遮断していたシャッターを開放した時刻、 t_3 制御光をシャッターで再び遮断した時刻、 t_4 制御光を遮断したシャッターを開放した時刻、 t_5 制御光をシャッターで再び遮断した時刻、 t_6 信号光の光源を消灯した時刻、 θ 集光レンズで収束させた光ビームの外周部が光軸となす角度、 ω_0 集光レンズで収束させたガウスビームのビームウエスト（焦点位置におけるビーム半径）。

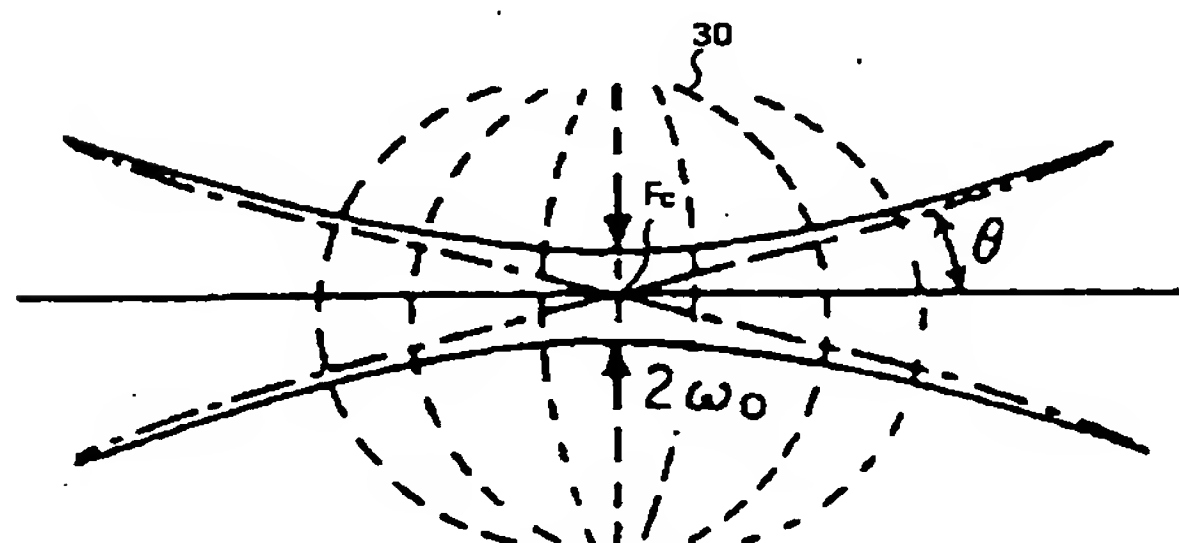
【図1】



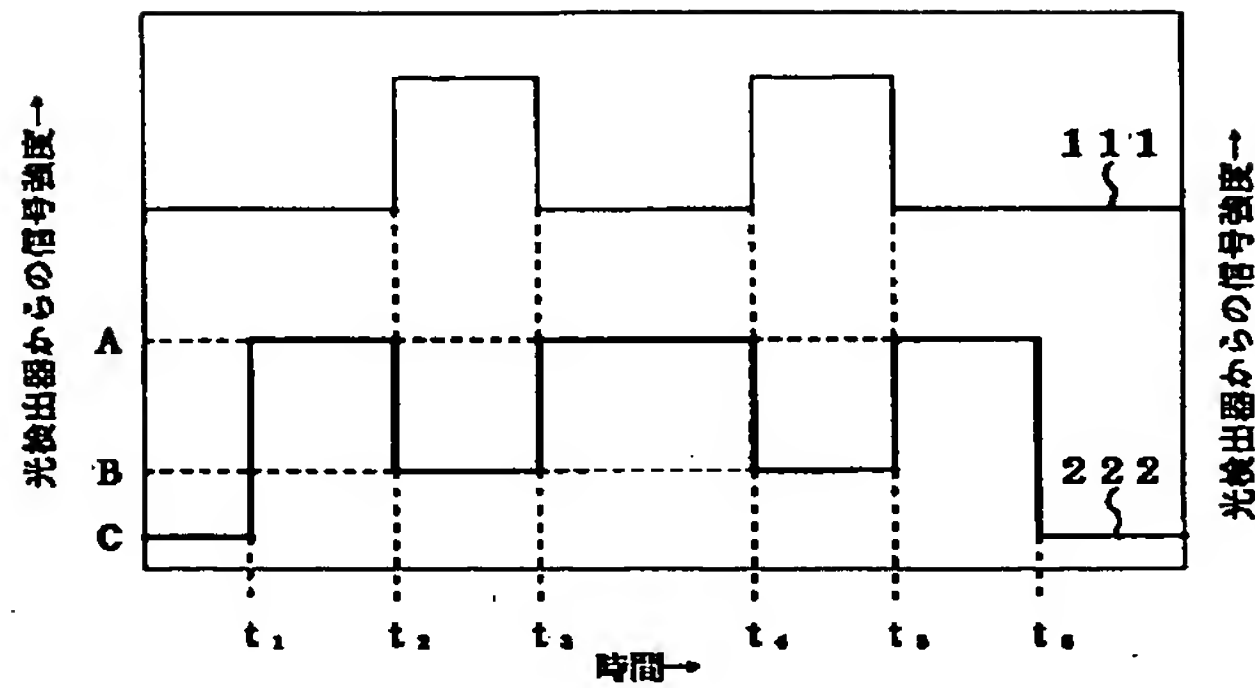
【図2】



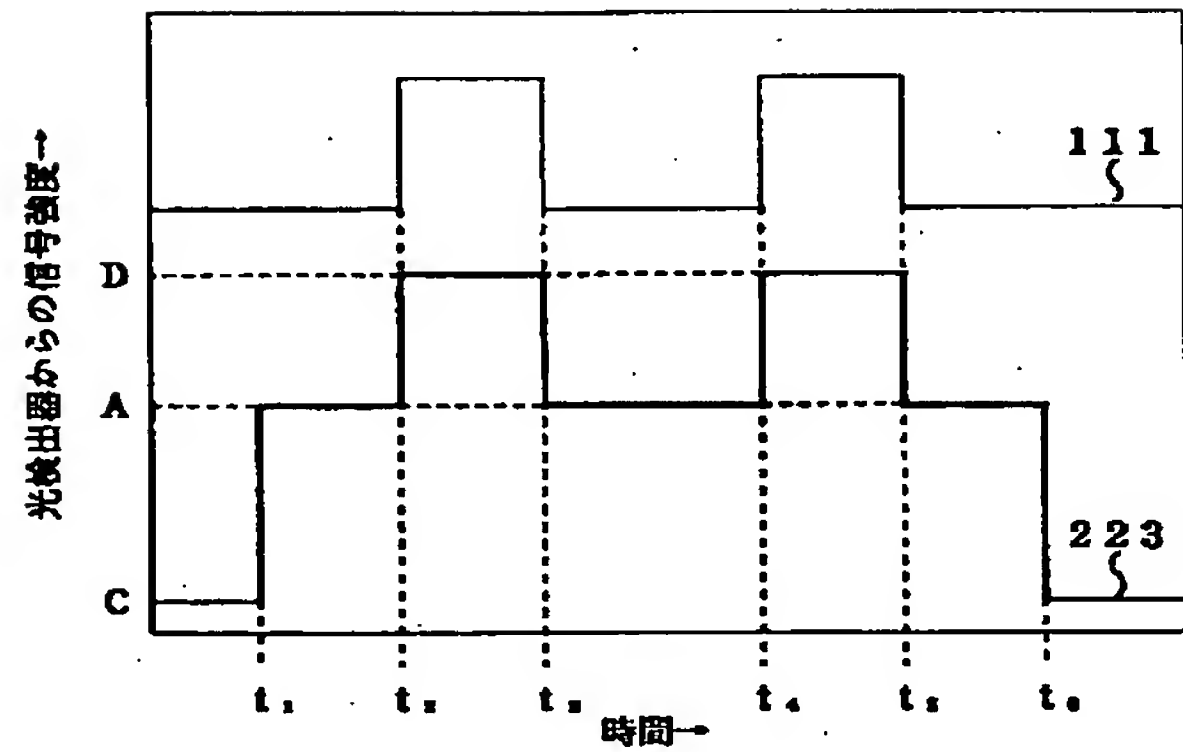
【図6】



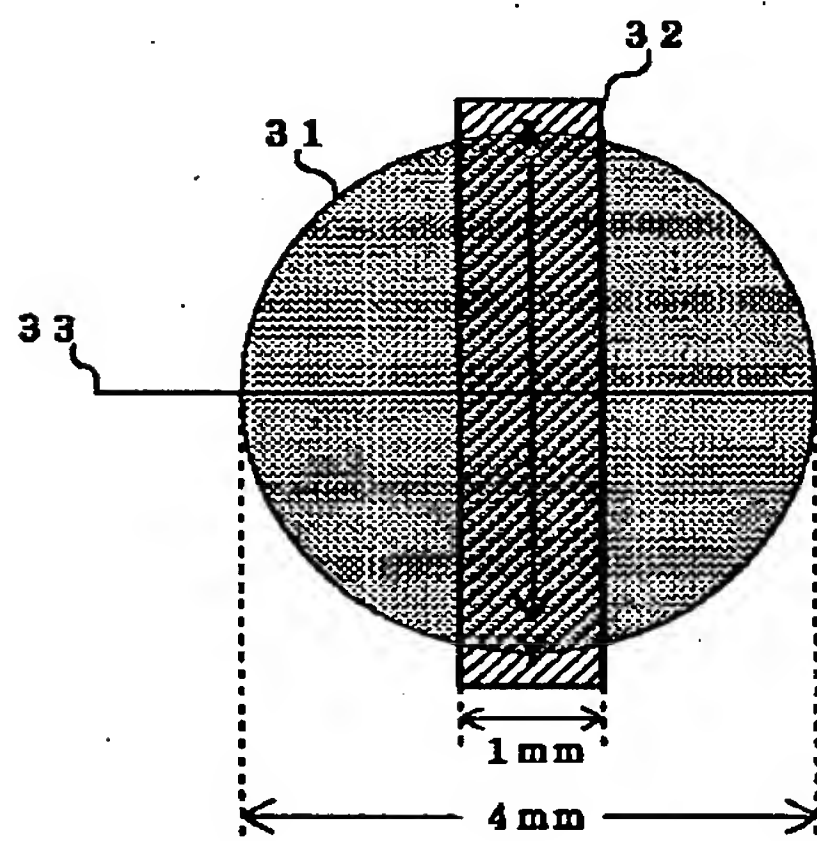
【図3】



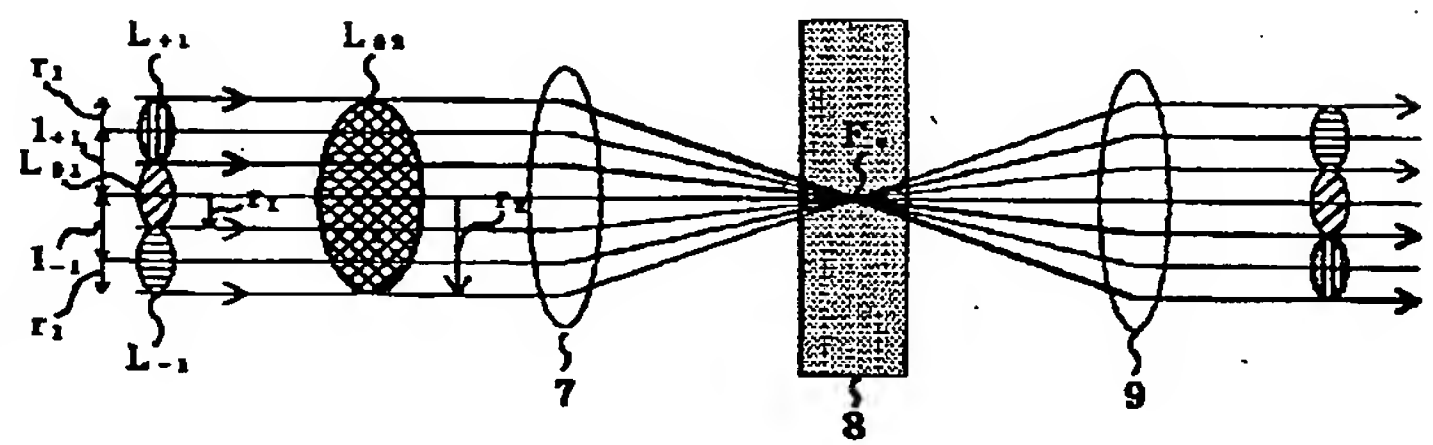
【図4】



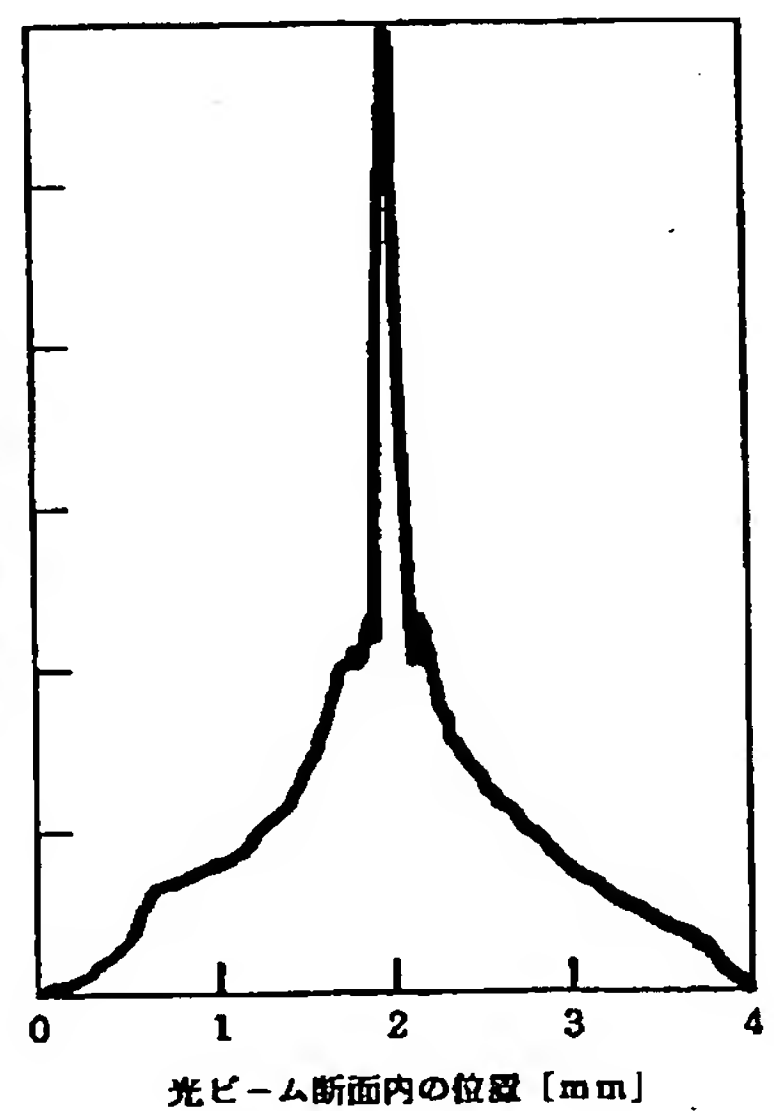
【図5】



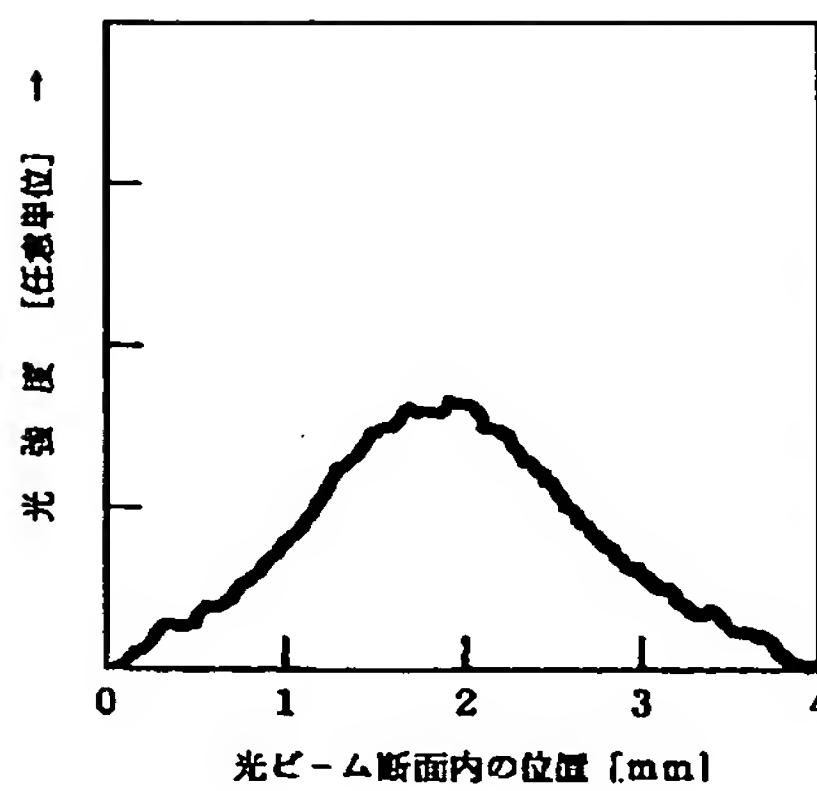
【図7】



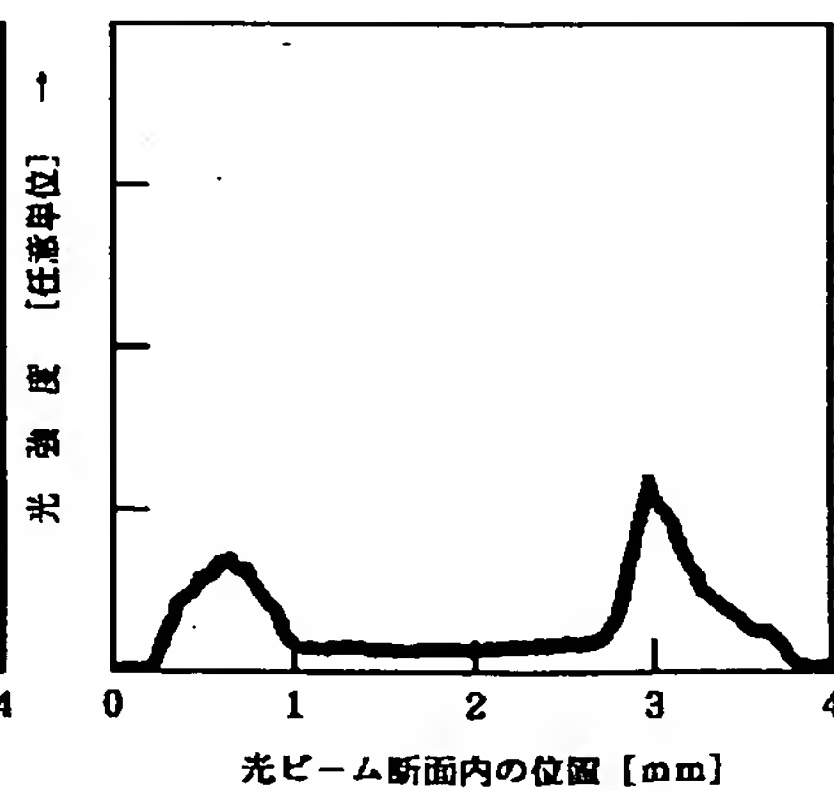
【図10】



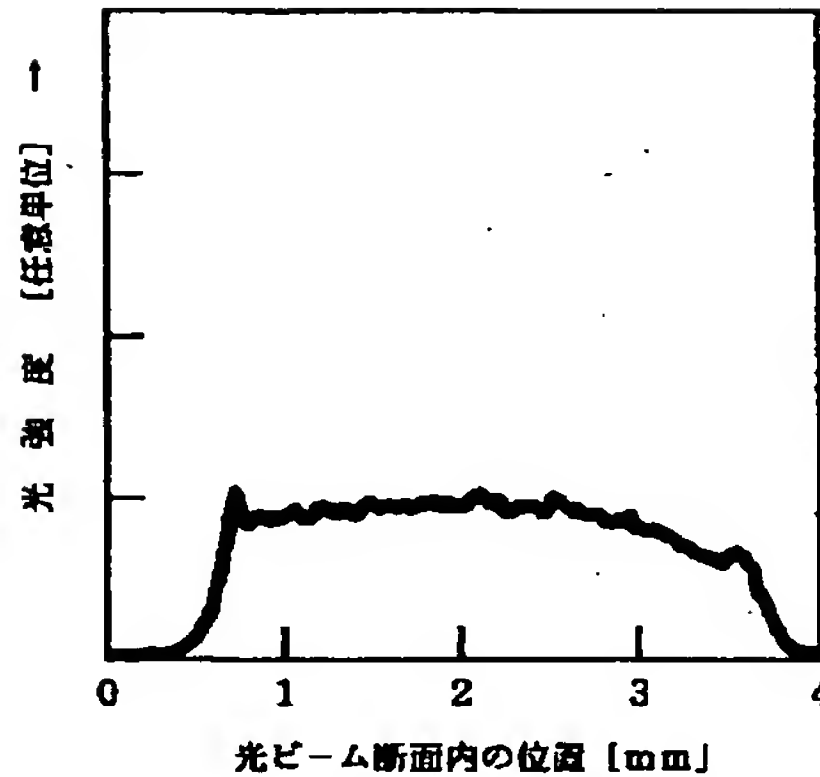
【図8】



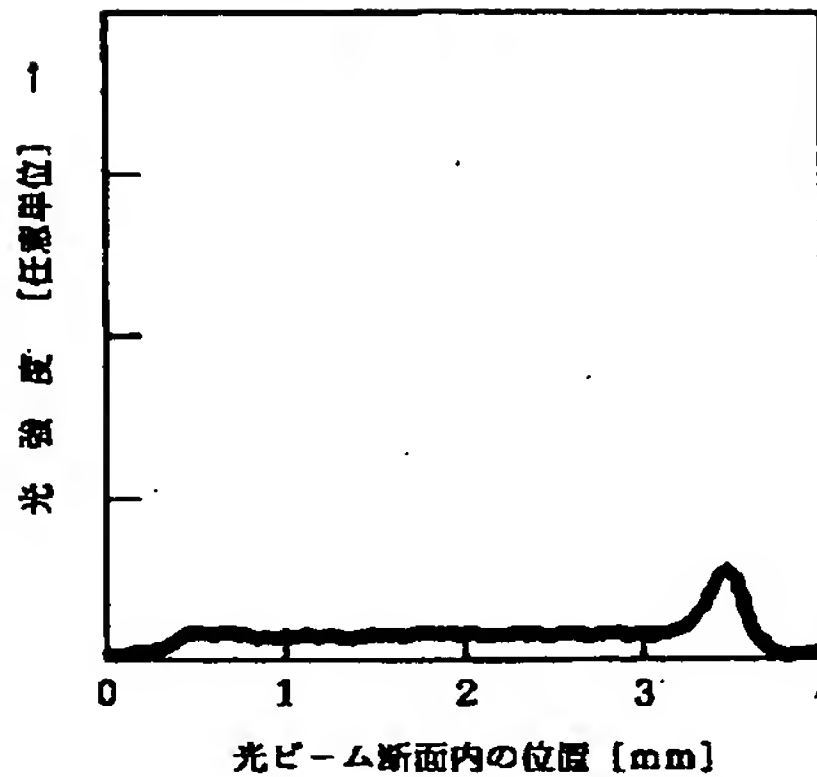
【図9】



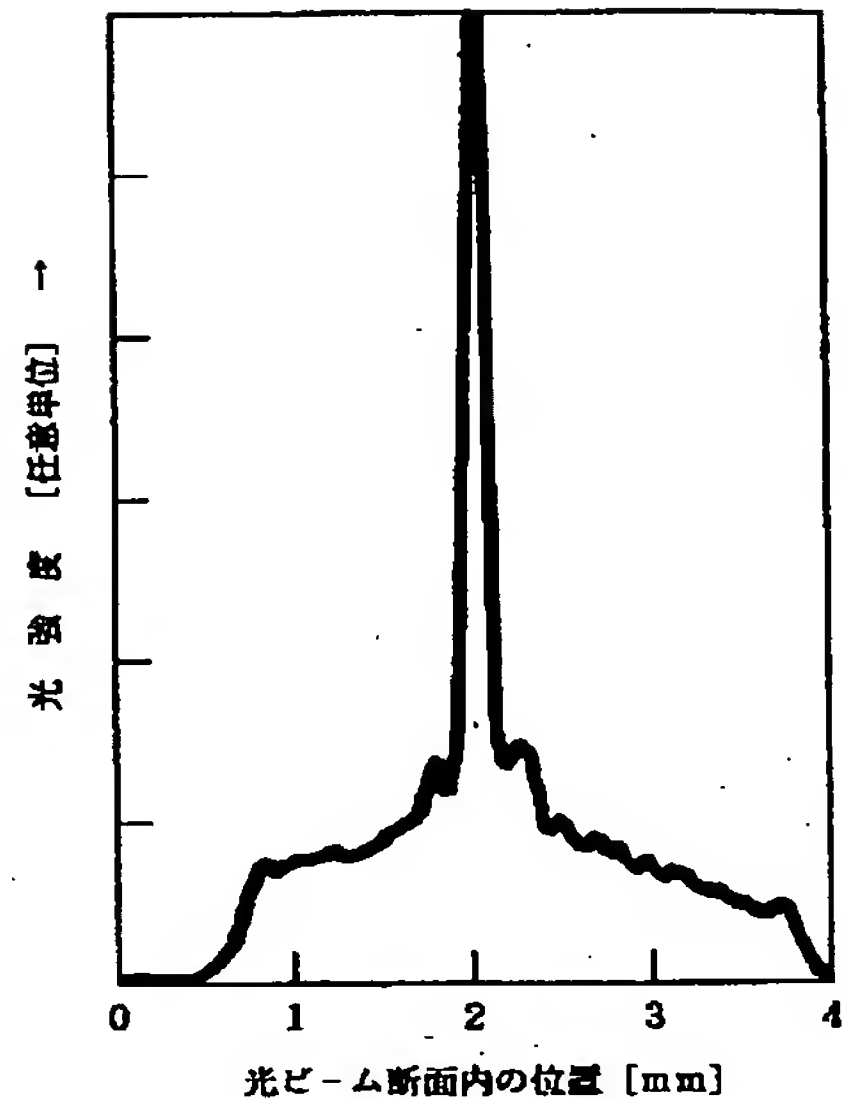
【図11】



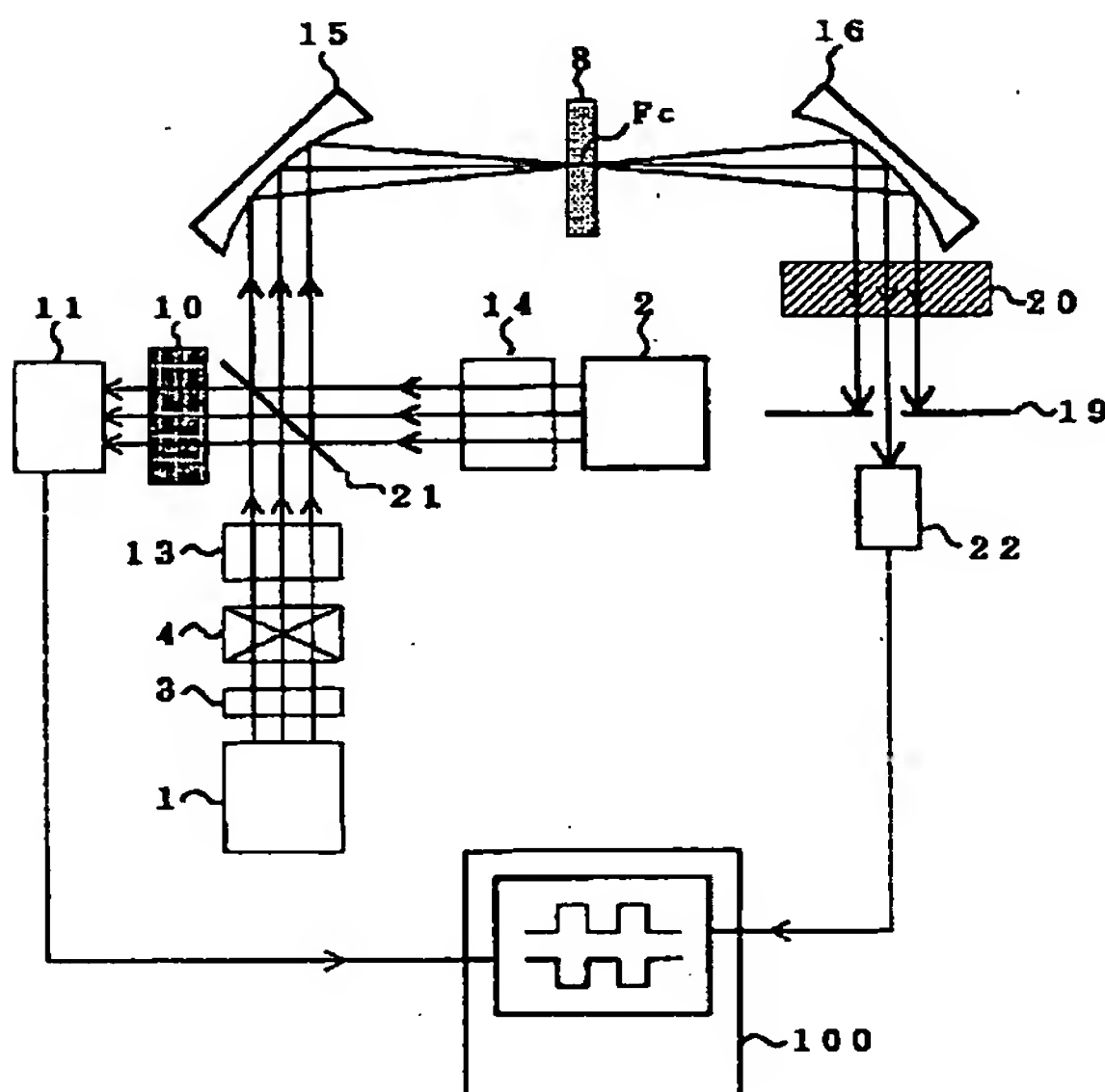
【図12】



【図13】



【図14】



【手続補正書】

【提出日】平成8年9月11日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項3

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項3】 請求項1または2記載の光制御方法において、

前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲（開口角）で取り出すことによって、

前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた

領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0086

【補正方法】変更

【補正内容】

【0086】図9は、収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が減少する向きの光応答222が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム

断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺で光強度が増大する分布になっている。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および膜型光学素子 8 と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すに従い、ゼロに近づいて

いく。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が減少する向きの光応答 222 を、十分な大きさで取り出すことが出来る。

【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 9 月 12 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正内容】

【0008】本出願人は、上記従来技術の有する課題を解消し、できる限り低い光パワーで十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引き出すような光制御方法および光制御装置に関する特許（特願平 7-25618 号）および光応答性材料に関する特許（特願平 7-58413 号、7-58414 号）を出願した。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】これらのマトリックス材料中へ色素を溶解または分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、色素とマトリックス材料を共通の溶媒中へ溶解して混合した後、溶媒を蒸発させて除去する方法、ゾルゲル法で製造する無機系マトリックス材料の原料溶液へ色素を溶解または分散させてからマトリックス材料を形成する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、色素を溶解または分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、色素と有機高分子系マトリックス材料を共通の溶媒中に溶解した溶液を、色素および熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の両方が不溶の溶剤中へ滴下し、生じた沈殿を濾別し乾燥してから加熱・溶融加工する方法などを好適に用いることができる。色素とマトリックス材料の組合せおよび加工方法を工夫することで、色素分子を凝集させ、「H 会合体」や「J 会合体」などと呼ばれる特殊な会合体を形成させることができることが知られているが、マトリックス材料中の色素分子をこのような凝集状態もしくは会合状態を形成する条件で使用しても良い。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】また、これらのマトリックス材料中へ前記の種々の微粒子を分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、前記微粒子をマトリックス材料の溶液、または、マトリックス材料の前駆体の溶液に分散した後、溶媒を除去する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、前記微粒子を分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、微粒子の前駆体として、例えば過塩素酸カドミウムや塩化金などの金属塩を有機高分子系マトリックス材料中に溶解または分散した後、硫化水素ガスで処理して硫化カドミウムの微粒子を、または、熱処理することで金の微粒子を、それぞれマトリックス材料中に析出させる方法、化学的気相成長法、スパッタリング法などを好適に用いることができる。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正内容】

【0035】本発明の光制御方法および光制御装置では、制御光および信号光をそれぞれ収束させ、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度が最も高い領域が光学素子中において互いに重なり合い、前記光学素子の光応答性組成物中の励起種（例えば色素分子、金属イオンなど）と前記制御光および前記信号光の光子の相互作用効率を著しく向上させることが可能となり、その結果、従来に比べ低い光パワーで十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引き出すことが可能になる。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正内容】

【0063】図 1 の装置配置においては膜型光学素子 8 に制御光と信号光とを収束して入射させているが、収束ビーム径が最小となる位置（焦点 F_c ）を膜型光学素子 8 の集光レンズ 7 に近い所（光の入射側）に設定すると、前記光学素子を透過した前記信号光の強度が減少する方向の光応答 222 が観察される。一方、収束ビーム径が最小となる位置（焦点 F_c ）を膜型光学素子 8 の受

光レンズ9に近い所（光の出射側）に設定すると、前記光学素子を透過した前記信号光の見かけの強度が増大する方向の光応答223が観察される。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0067

【補正方法】変更

【補正内容】

【0067】なお、収束ビーム径最小位置（焦点Fc）の膜型光学素子8上での移動は、膜型光学素子8を移動させて行った。すなわち、集光レンズ7および受光レンズ9の間隔（ $d_{78} + d_{89}$ ）を固定したまま、膜型光学素子8と集光レンズ7の距離を変化させ、同一の光路で収束された制御光および信号光の焦点位置と膜型光学素子8との位置関係を変化させて行った。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0083

【補正方法】変更

【補正内容】

【0083】上記のように収束ビーム径が最小となる位置（焦点Fc）と膜型光学素子8の位置関係を変えることによって、信号光の光応答の向きを逆転させ、信号光の見かけの強度が減少する方向、または、増加する方向の応答を得ることが出来る。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0086

【補正方法】変更

【補正内容】

【0086】図9は、収束ビーム径が最小となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が減少する向きの光応答222が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺で光強度が増大する分布になっている。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および膜型光学素子8と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すに従い、ゼロに近づいていく。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が減少する向きの光応答222を、十分な大きさと取り出すことが出来る。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0087

【補正方法】変更

【補正内容】

【0087】図10は、収束ビーム径が最小となる位置

（焦点Fc）を膜型光学素子8の受光レンズ9に近い所（光の出射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が増大する向きの光応答223が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合は、中心部分の光強度が、制御光を照射しない場合の中心部分の光強度（図8）より強くなっている。この場合、信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および膜型光学素子8を焦点位置の關係に依存するが、制御光非照射時の数倍にも達する。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が増大する向きの光応答223を十分な大きさと取り出すことが出来る。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0089

【補正方法】変更

【補正内容】

【0089】なお、図11、12、13は、集光レンズ7の開口数を0.65、受光レンズ9の開口数を0.4にした場合の信号光ビーム断面の光強度分布である。図11は信号光のみが膜型光学素子8に入射した場合、図12は収束ビーム径が最小となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定した場合、図13は収束ビーム径が最少となる位置（焦点Fc）を膜型光学素子8の受光レンズ9に近い所（光の出射側）に設定した場合の前記信号光のそれぞれの光強度分布である。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0093

【補正方法】変更

【補正内容】

【0093】表1のデータは、一例として、実施形態1の装置において、集光レンズ7として、開口数0.65の顕微鏡用対物レンズを用い、受光レンズ9として、開口数0.4の顕微鏡用レンズを用い、収束ビーム径が最小となる位置（焦点）を膜型光学素子8の集光レンズ7に近い所（光の入射側）に設定し、前記光学素子を透過した前記信号光が減少する方向の光応答222が観察される条件下、信号光の光路を断面L02（直径8mm）に固定し、断面L+1、L01、またはL-1（直径1mm）の制御光の光路（光軸）を光軸間の距離 l_{+1} または l_{-1} として0.9乃至1.2mm平行移動した場合の、信号光・光応答の大きさ ΔT の変化を示したものである。信号光および制御光の光軸が完全に一致している場合の光応答が最大であるが、光軸間の距離 l_{+1} または l_{-1} が±0.6mm程度ずれても、光応答の大きさ ΔT は7ポイントほど変化するにすぎない。

【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0094

【補正方法】変更

【補正内容】

【0094】すなわち、収束された信号光および制御光のそれぞれの焦点の近傍の光子密度が最も高い領域（ビームウエスト）が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、これらの領域の重なり合いが最大になったとき、すなわち、前記制御光および前記信号光の光軸が完全に一致したとき前記光応答は最大になること、前記制御光および前記信号光の光路が実質的に同一のとき、充分大きな光応答が得られることが判った。

【手続補正 13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0096

【補正方法】変更

【補正内容】

【0096】この膜型光学素子を実施形態1の場合と同様な光制御装置（図1）に取り付け、制御光および信号光の収束ビーム径が最小となる位置（焦点Fc）と膜型光学素子8の位置関係を変えながら、制御光の断続に対応した、信号光の光応答の向きおよび大きさを調べた。ただし、集光レンズ7として倍率20倍、開口数0.4の顕微鏡用レンズを、受光レンズ9として倍率10倍、開口数0.3の顕微鏡用対物レンズを用い、集光レンズ7および受光レンズ9の間隔（ $d_{78} + d_{89}$ ）を固定したまま、膜型光学素子8と集光レンズ7の距離を変化させ、同一の光路で収束された制御光および信号光の焦点位置と膜型光学素子8との位置関係を変化させて行った。

フロントページの続き

(72)発明者 田中 教雄

東京都足立区堀之内1丁目9番4号 大日
精化工業株式会社東京製造事業所内

(72)発明者 宝田 茂

東京都足立区堀之内1丁目9番4号 大日
精化工業株式会社東京製造事業所内